

MEMORIAS
DE LA
REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y ARTES
DE BARCELONA

TERCERA ÉPOCA

VOL. VIII. NÚM. 8

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL CALOR

DISCURSO INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO DE 1909 Á 1910

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

D. JOSÉ MESTRES GÓMEZ

Publicada en diciembre de 1909

BARCELONA

A. LÓPEZ ROBERT, IMPRESOR. — CONDE DEL ASALTO, 63

1909



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Biblioteca



1400462967

MEMORIAS

DE LA

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS Y ARTES

DE BARCELONA

TERCERA ÉPOCA

VOL. VIII. NÚM. 8

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL CALOR

DISCURSO INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO DE 1909 Á 1910

POR EL ACADÉMICO NUMERARIO

D. JOSÉ MESTRES GÓMEZ

Publicada en diciembre de 1909



BARCELONA

A. LÓPEZ ROBERT, IMPRESOR. — CONDE DEL ASALTO, 63

1909

BIBLIOTECA ETSEIB
DONAT PEL PROFESSOR
BARTOMEU SIGALES

100

RECEIVED
JAN 10 1900
U.S. DEPT. OF AGRICULTURE

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL CALOR

DISCURSO INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO DE 1909 Á 1910

por el Académico numerario

D. JOSÉ MESTRES GÓMEZ

Sesión del día 20 de octubre de 1909

EXCMO. SR.:

Héme preguntado en infinidad de ocasiones cual podría ser la causa del poco interés y de la ligereza con que á menudo, por no decir las más de las veces, son consideradas y tratadas las cuestiones referentes á la utilización del calor, y he llegado á adquirir el convencimiento de que ello dimana de un concepto equivocado, de un error lamentable que sería conveniente rectificar. El hombre cree utilizar el calor que produce y consume, y lo que hace es malgastarlo y derrocharlo de un modo lastimoso. Tratando del calor, la presunción humana está á la altura de su ignorancia. Pretende ser dueño, y es esclavo; cree dominar y sujetar al calor, y éste, burlándose de sus estériles esfuerzos, le tiene sometido de una manera absoluta á su voluntad.

¿Es posible, dirán algunos, que un error de estos alcances y trascendencia pueda perpetuarse así de un modo indefinido? ¿por ventura desde las más remotas edades el estudio del calor no ha preocupado preferentemente, con interés predilecto á la humanidad, y los preceptos y las leyes y las propiedades deducidas acerca de los fenómenos de la producción, de la transmisión y de la utilización del calor, no se han vulgarizado, no han pasado al dominio de la generalidad? ¿qué dificultades puede, pues, ofrecer la resolución de un problema de esta naturaleza?

Precisamente aquí radica el mal: todo el mundo se cree apto para resolver esta clase de problemas, y, claro es que admitida esta hipótesis, la resolución de los mismos no podría ofrecer ningún interés. Pero, esta hipótesis hállase desprovista de fundamento; la vulgarización es incompleta. La generalidad ignora las dificultades que presenta el problema de la utilización del calor, y esta ignorancia es causa de la confusión que reina entre los conceptos de *producción* y *aprovechamiento*. No es lo mismo producir calor que utilizar calor; todo el mundo sabe *producirlo*, pocos hay que sepan *aprovecharlo*.

He aquí señores el tema que me propongo desarrollar sí, como humildemente lo ruego, os dignais prestarme vuestra benévola atención.

Todos, con mayor ó menor claridad, tenemos idea de lo que son y del modo como funcionan los aparatos llamados receptores hidráulicos; todos sabemos que consisten en unas ruedas con paletas, de eje horizontal unas veces y vertical otras, cuyas ruedas giran impulsadas por la fuerza viva de una corriente de agua convenientemente dirigida, que circula por un canal ó tubo denominado canal ó tubo de admisión. Esto sentado, imaginad que, por mera curiosidad, giramos una visita á una sala de turbinas, y, con la sorpresa que es de suponer, vemos que el agua, filtrando al través de las paredes del tubo de admisión, salta y se proyecta violentamente contra los muros del edificio, se escurre y desliza por el suelo, y poco á poco va inundando la habitación. ¡Vaya qué instalación tan defectuosa!—diríamos retrocediendo prudentemente para evitar la avalancha del líquido desparramado,—imposible parece,—añadiríamos— que no sepan ver la pérdida de energía que representa toda esta agua que miserablemente se arrastra por el suelo. Es cuestión de sentido común. El empuje del agua que acciona sobre la turbina, en el supuesto de que la velocidad de aquélla no experimente alteración, aumenta siempre con el caudal que circula por el interior del canal, y claro es que, si al través de las paredes de éste, sale una parte mayor ó menor de dicho caudal, entonces el empuje disminuirá en cantidad proporcional.

Dejemos las turbinas y pasemos á visitar una instalación de generadores de vapor. La primera impresión que se recibe es bochornosa, nos sofoca á causa del calor intenso que se desparra por el local; la temperatura del recinto es molesta é insoportable por su elevación y, esto no obstante, sufrimos y callamos pareciéndonos que, tratándose de una instalación de esta índole, los efectos mencionados son la cosa más natural del mundo, y con imperturbable seriedad, á pesar de que el sudor y las molestias aumentan por instantes, proseguimos admirando las *exce-lentes* condiciones de la instalación.

He aquí un hecho bien singular; antes, es decir, allá en la sala de turbinas nos sorprendió el mal estado de la instalación, y de ello protestamos, sólo porque vimos que se perdía una parte, quizás pequeña, del caudal de agua que debía utilizar el receptor, y ahora aquí, en el cuarto de calderas, no se sabe ver que el calor desarrollado en los hogares, y que se produce sólo con el objeto de vaporizar el agua que las dichas calderas contienen en su interior, escapa por todas partes, atraviesa las paredes, vence los obstáculos que en vano tratan de oponerse á su esparcimiento y circulación, inunda, invade el local, nos molesta, nos sofoca, y á pesar de estas manifestaciones, no se sabe ver, repito, la pérdida enorme de calor. Confesad que el caso es bien raro. Y tened en cuenta, que la pérdida en estos casos es siempre de consideración; respecto á este particular no puede haber ningún género de duda. Si la instalación es perfecta, en lo que cabe dentro de su naturaleza, dicha pérdida quizás se reduzca á un 20 por 100 de la totalidad del carbón que se consume en el hogar; en el caso contrario, podrá elevarse á un 60 por 100 ó quizás más. Los hechos prácticos demuestran la verdad de estas afirmaciones.

Insistiremos en lo dicho al principio: es muy fácil producir y servirse del

calor, lo difícil es aprovecharlo. La generalidad ve sólo la primera parte del problema, y en esta atención, cualquiera cree saber cuanto es necesario para resolverlo. Sí, es verdad, hasta en las chozas más humildes se enciende fuego y se calienta el puchero; pero preguntad á sus moradores por qué motivo extreman las medidas económicas, tratando de los artículos de primera necesidad que consumen, y son tan pródigos y derrochadores respecto á la leña que emplean como combustible. A buen seguro que se quedarían absortos. ¡Ellos derrochadores del combustible cuya adquisición tantos afanes y sudores les cuesta! Y, sin embargo, es la pura verdad. El calor que se desarrolla en la combustión ha de considerarse descompuesto en dos sumandos; calor irradiado por el foco, y calor absorbido por los gases que se desprenden durante la misma combustión. Cuando el receptor está envuelto completamente por las llamas, del calor irradiado, recibe sólo una pequeña parte, y del absorbido por los gases la fracción recibida es aún menor, puesto que éstos cuando abandonan la superficie del receptor están todavía inflamados, y por consiguiente á una temperatura, por lo menos, de 800°, y como la del hogar es aproximadamente de 1000°, el calor que arrastran los referidos gases y que se pierde miserablemente, es los 8/10 de la totalidad del producido.

En parecidas, y en muchos casos, peores condiciones se encuentran las instalaciones térmicas en las más suntuosas moradas. Los rendimientos de las chimeneas abiertas es desastroso; se pierde por completo el calor absorbido por los gases; sólo se utiliza una fracción del irradiado por el foco. En los caloríferos de aire caliente, en los de circulación de agua, etc., etc., siempre se ve lo mismo, las pérdidas á que dan lugar las filtraciones y dispersión del calor son enormes. Ved, pues, si es de necesidad el estudio del *aprovechamiento* del calor. Cuando un infeliz aterido de frío enciende un manojo de ramas para calentarse, claro es que utiliza una fracción del calor desarrollado, mas el resto, que es la mayor parte, casi la totalidad ¿dónde va á parar? Si este calor pudiera acumularse, guardarse y consumirse á voluntad, aquel infeliz podría calentarse á todas horas durante todo el invierno. Las dificultades que presenta la resolución de este problema son grandes, numerosas y muy difíciles de evitar. La naturaleza del calor, su misión en el concierto de la vida universal, inutilizan cuantos esfuerzos se practican para retenerlo, para acumularlo y también para encauzarlo y dirigirlo en un sentido único y determinado.

Hora es ya de que entremos en el fondo de la cuestión, para vislumbrar, no nos atrevemos á decir ver, la causa de los hechos mencionados.

¿Qué es el calor? Desde la época de Newton hasta nuestros días el cambio que acerca de este asunto han experimentado las ideas, es muy radical. La teoría de la emisión del calor quedó deshecha ante los experimentos y sólida argumentación de Runford; el calor ya no es material, es energía, es fuerza viva, es trabajo. Mayer demuestra la equivalencia entre el calor y el trabajo. La termo-dinamia aparece con todo su esplendor, y Joule, Hirn, Carnot, y tantos otros ilustres varones que podrían citarse, sientan los principios de esta nueva rama del saber huma-

no, cuyas aplicaciones tanto han contribuído al perfeccionamiento de la construcción de las máquinas térmicas.

El calor es movimiento: las menores partes de los cuerpos vibran ú oscilan con tanta mayor rapidez cuanto mayor es su elevación de temperatura. Respecto á este particular no caben dudas. En lo que no todos están conformes es en la manera de apreciar la esencia del fenómeno. ¿Los átomos materiales se *mueven* en virtud del calor ó son *movidos* por las vibraciones que el calor determina en el medio incógnito en que inmergen?

En el estado actual de la Ciencia, sabido es que la consideración de la ley de la *continuidad* sirve de base para la explicación de los fenómenos naturales. Admite esta hipótesis la existencia de algo ¿materia ó energía? que lo mismo llena los espacios inter-solares que los inter-atómicos; y que los flujos y reflujos, las condensaciones parciales que experimenta, sus movimientos oscilantes y vibratorios, y en general todas las perturbaciones que en él tienen lugar, influyen de una manera esencial en la manifestación, desarrollo y propagación de los mencionados fenómenos naturales. Pero, como el modo de desarrollarse esta influencia, y el conocimiento de las propiedades del medio hipotético, son problemas que la Ciencia aspira resolver, no es permitido, en estas condiciones, aventurar alguna afirmación, máxime tratándose de un asunto que en el fondo integra el problema trascendental de la constitución íntima de la materia.

Sea como fuere y prescindiendo de si las funciones del medio son *activas* ó *pasivas*, es un hecho real y positivo que cuando un cuerpo se calienta, y no cambiando de su *estado* molecular físico puede dilatarse sin que ninguna fuerza se oponga á su dilatación, todo el calor que recibe incrementa, en general, la fuerza viva de los elementos *visibles* é *invisibles* que entran en su constitución, todos vibran y oscilan, con tanta mayor rapidez y amplitud, cuanto mayor es la cantidad de calor que reciben. Así pues, el calor es movimiento, es fuerza viva y como ésta no puede anularse sin producir un trabajo equivalente á la mitad de su valor inicial, resulta que el calor es trabajo, es energía.

El calor existe en la Creación, y su acción se hace sensible en todas sus partes y sobre todo los elementos que la constituyen. Bajo la acción del calor, así los átomos como los soles, lo mismo la materia visible que la invisible, todo se mueve y vibra con sujeción á leyes inmutables y conservadoras, que armonizan de un modo maravilloso la unidad con la variedad. La energía que representa el calor existente en el Universo, excede á toda ponderación. Y, la admiración es aún mayor, si se considera que este calor, inalterable en su totalidad, varía de continuo de un punto á otro, de una región á otra región, y que á estas variaciones, que indudablemente estarán regidas por leyes que la Ciencia desconoce, se debe, por lo menos en una gran parte, la conservación de la Vida en el concierto universal.

El calor es energía, es verdad; pero es necesario aclarar este concepto. Un sistema decimos que posee energía cuando produce ó está en condiciones de producir un trabajo determinado. Para que el calor produzca trabajo, es indispensable

la existencia de un desnivel térmico entre las partes del sistema que se considera. Suponed el cilindro de una máquina de vapor con su pistón ó émbolo correspondiente, é imaginad que á entrambas caras de éste, ejercen su acción dos masas iguales de vapor de agua, á la misma temperatura, y por consiguiente, á la misma presión. ¿Se moverá el pistón? A buen seguro que no. Recalentemos tanto como se quiera las dos masas de vapor; acumúlese cada vez más calor en el sistema; mientras subsista la igualdad de temperaturas de las dos dichas masas de vapor, el pistón tampoco se moverá. En cambio, si permaneciendo constante la temperatura del vapor de una parte del cilindro, se enfría el de la parte opuesta, la diferencia de sus tensiones determinará el movimiento del referido pistón. Obsérvese que en el primer caso el sistema no está en condiciones de producir trabajo y, por consiguiente, que la energía *intrínseca* que contiene, por más elevada que sea, es, bajo el punto de vista de su utilización, completamente inútil, es inservible; en una palabra, y tal como nosotros lo entendemos, el sistema *carece* de energía; y que, en el segundo, á pesar de que el sistema contiene evidentemente menos calor, puede producir trabajo, y por lo tanto *posee* energía.

Así pues, la energía de un sistema no depende precisamente del calor estático, si así podemos expresarnos, que contiene, si no del calor dinámico, ó sea del flujo de calor que circula por su interior. Una masa de agua en equilibrio, por ejemplo, también posee intrínseca una cierta cantidad de energía, pero, es energía inaprovechable; para utilizarla es preciso establecer un salto, un desnivel cualquiera que la ponga en movimiento.

La Naturaleza, por lo menos en los fenómenos térmicos que se desarrollan en nuestro planeta, nos demuestra de continuo el hecho mencionado. La vida esplendorosa que en la Tierra se desarrolla, está caracterizada, no precisamente por el movimiento ni por el calor, sino por la diversidad de movimientos que engendra la variabilidad de un flujo de calor. La duración de la vida depende de la conservación de este flujo de calor, ó lo que es lo mismo, de la duración de la fuerza termo motriz que sostiene la circulación. Un cadaver también tiene calor, lo que le falta es fuerza termo motriz.

La Tierra vive merced á las corrientes térmicas que, de una manera periódica, sostiene la acción del Sol. Las alternativas de noche y día; los intervalos de luz y de oscuridad; la excentricidad de los movimientos y consiguiente variabilidad de las estaciones, y quizás también otras causas que desconocemos, todo ello determina la serie de impulsos, como si dijéramos, los latidos del organismo terrestre.

Si la potencia de un organismo aumenta con el valor de la fuerza termo motriz que la sostiene, considerad cual será la potencia vital del Sol. Herschel dice: "Los rayos del Sol son el único manantial de casi todos los movimientos que tienen lugar en la superficie de la Tierra. Su calor produce las corrientes atmosféricas y da origen á esas perturbaciones en el equilibrio eléctrico de la atmósfera que engendran los rayos, las auroras polares, y probablemente también, el magnetismo

terrestre. Bajo su acción vivificadora los vegetales se alimentan de las materias orgánicas, y ellos, á su vez, sirven para el sostén del hombre y de los animales; al mismo origen se debe la formación de esos inmensos depósitos de carbón, cuya utilidad es tan grande para la humanidad; el Sol eleva el agua del mar, la transporta y reparte sobre la superficie de la Tierra, para fertilizar sus campos, alimentar las fuentes y los ríos, y dar vida á los innumerables receptores hidráulicos montados en el curso de estos últimos. A los rayos solares se deben además las variaciones que de continuo experimenta el equilibrio de los cuerpos existentes en la Naturaleza, y que dan lugar á las múltiples y variadas transformaciones de la materia que contiene..." En las palabras de Herschel no hay exageración: la potencia vivificadora del Sol es increíble. Para hacerse cargo de la importancia del estudio del calor, basta observar que la casi totalidad de la energía acumulada en la Creación tiene su equivalente en la integral de las cantidades de calor repartidas entre la diversidad de los elementos que la constituyen. Estudiar el calor es someter á un análisis las condiciones de existencia del conjunto universal. Y, estas consideraciones de caracter general, deben tenerse presentes en cada caso particular; la vitalidad, el porvenir de la inmensa mayoría de las industrias establecidas, depende de la buena utilización del calor que exige su producción. La economía del calor se traduce siempre en una mayor longevidad industrial.

De lo expuesto se deduce que utilizar el calor significa aprovechar el dinamismo térmico de un flujo de calor. Para ello podemos servirnos de las corrientes naturales debidas á la presión térmica del Sol, y de las artificiales que, por lo común, promovemos mediante el fenómeno de la combustión.

Algunos, muy pocos, ensayos se han verificado para concentrar los rayos del Sol con el objeto de producir grandes focos de calor; los resultados prácticos obtenidos han sido muy deficientes. La sabiduría que preside en la Creación, nos señala el camino que debemos seguir para utilizar la energía solar. La acumulación de este calor, problema que tanto preocupa á la humanidad, nos lo da ya completamente resuelto. ¿Qué significan sino las inmensas masas de nieve amontonadas en los sitios más elevados de la Tierra? Este trabajo es providencial, y si el hombre no sabe ó no quiere aprovecharlo, peor para él.

El fenómeno de la combustión determina, por lo común, una temperatura elevada que el hombre utiliza para promover un flujo de calor. El problema térmico comprende dos partes; 1.^a quemar por completo el combustible empleado, es decir, quemarlo en condiciones tales que ningún elemento combustible escape sin arder; y 2.^a dirigir, conducir ó transmitir la mayor cantidad posible del flujo de calor desarrollado, al sitio ó al cuerpo que ha de modificarse ó transformarse en virtud de su acción.

No es tan fácil, como algunos tal vez se figuren, la operación de quemar por completo un peso determinado de combustible, antes por el contrario, puede afirmarse que ofrece serias dificultades; pero, para no abusar inconsideradamente de vuestra benévola atención, prescindiré de esta primera parte, dando por sentado

que la combustión se verifica en las mejores condiciones, y me limitaré á estudiar, en el caso más sencillo que puede presentarse, las particularidades que ofrece la transmisión del calor.

Sea, un cuerpo previamente calentado, que, colgado de una cuerda ó cadenilla cualquiera, lo colocamos en el centro de un recinto cuya temperatura sea inferior á la suya. Claro es que el cuerpo se irá enfriando ó transmitiendo calor, y que estudiando debidamente las leyes del enfriamiento, podrá venirse en conocimiento de las que rigen en la transmisión. La cuestión parece ser muy sencilla, fácil será probar lo contrario. En efecto, del estudio indicado, hecho quizás con precipitación, se dedujo que el enfriamiento era proporcional á la superficie del cuerpo calentado; á la diferencia de temperaturas; y al tiempo que duraba la transmisión. Si S , $t - \theta$, y z expresan los valores de los grandores citados, la cantidad M del calor transmitido vendría dada por

$$M = KS (t - \theta) z$$

siendo K un coeficiente numérico, constante en cada caso particular, que expresa el calor transmitido por cada grado de exceso de temperaturas, al través de 1 metro cuadrado de superficie, durante 1 hora de tiempo. Pues bien, estas leyes, conocidas con el nombre de *leyes del enfriamiento*, no son exactas, el calor transmitido por grado-metro-hora, es decir, el valor del coeficiente K , no es, como se supuso, una cantidad constante, antes por el contrario, aumenta á medida que el exceso de temperaturas es mayor.

El error proviene de varias causas. Una de ellas es la creencia de que, en un tiempo dado, el calor irradiado por un foco de extensión determinada, depende sólo de la diferencia de temperaturas del foco y del medio en que está situado.

La fórmula general del calor irradiado

$$R = rs \left(a^T - a^\theta \right) z$$

transformada en

$$R = r s a^\theta \left(a^{T-\theta} - 1 \right) z$$

demuestra que, para una diferencia dada de temperaturas, el calor irradiado aumenta á medida que la temperatura del medio es mayor. Si las temperaturas T y θ , fuesen T' y θ' tales que $T - \theta = T' - \theta'$, siendo $\theta' > \theta$, entonces la nueva cantidad R' de calor irradiado por el mismo foco, vendría dada

$$R' = r s a^{\theta'} \left(a^{T'-\theta'} - 1 \right) z$$

y la relación entre ambas sería

$$\frac{R'}{R} = a^{\theta' - \theta}$$

y como el valor del coeficiente a es igual á 1,0077, es decir mayor que la unidad, resulta también que $a^{\theta' - \theta} > 1$, y por consiguiente que

$$R' > R.$$

Otra de las causas de error, por cierto de la mayor importancia, es no tener en cuenta el calor que se transmite por convección ó transporte. El caso es singular. En muchos de nuestros tratados de Física apenas se concede importancia á este medio de transmisión. Todos hablan de la *Conducción* y de la *Irradiación*; la mayoría incluyen también la *mezcla*, pero son contados los que estudian juntamente la conducción, la irradiación, la mezcla y la convección.

La transmisión por convección tiene lugar entre dos cuerpos, sólido uno, y fluido el otro. Al ponerse el fluido en contacto con el sólido, absorbe ó cede calor, según los casos, se separa y deja el sitio á las moléculas fluidas que le siguen, dando así lugar á un doble movimiento de ida y vuelta, de aproximación y separación, que altera de continuo la posición relativa de los elementos materiales del cuerpo fluido, y origina un transporte ó flujo de calor en el sentido de dicha circulación.

En el caso concreto que estamos analizando, el cuerpo se enfría por radiación y convección simultáneas, y las cantidades de calor que, por separado y en cada unidad de tiempo, se transmiten por estos conceptos, varían notablemente en cada caso particular. Las causas que en ello influyen son: la forma y la colocación del cuerpo caliente; la naturaleza y condiciones físicas de su superficie; las dimensiones del recinto y la naturaleza y el grosor de las paredes que lo limitan; y la naturaleza, la presión y la movilidad del medio que rodea al dicho cuerpo caliente.

En las leyes del enfriamiento se menciona, es verdad, la extensión superficial del cuerpo que se enfría pero se hace caso omiso de la forma que tiene y de la posición que ocupa, siendo así que, dos cuerpos de igual superficie, esférico el uno, supongamos, y cilíndrico el otro, en el mismo tiempo, y siendo igual la diferencia de temperaturas, transmiten diferentes cantidades de calor. Más aún: dos tubos cilíndricos de la misma naturaleza y de las mismas dimensiones, es decir, dos tubos cilíndricos idénticos, colocados uno vertical y el otro horizontal, tampoco transmitirán iguales cantidades de calor. Y fácilmente se comprende que así deba suceder. Imaginemos el tubo colocado verticalmente, y sigamos el camino que recorren las moléculas del fluido, supongamos aire que le rodea. Las moléculas más frías, que serán las más densas, ocuparán siempre la zona más

baja del recinto, y al ponerse en contacto con la parte, también inferior, del tubo vertical, se calentarán y elevarán en contacto con la superficie tubular, de manera que la diferencia de temperaturas entre el tubo de calefacción y el aire frío que se calienta en contacto con él, irá en disminución continua á lo largo de la superficie de transmisión, y, claro es que en estas condiciones, las cantidades de calor por ella transmitidas, disminuirán en la misma proporción. En el segundo caso, es decir, colocando el tubo horizontal, la diferencia de temperaturas será la misma á lo largo de su superficie, el aire calentado se irá elevando uniformemente por capas isotermas, y la transmisión de calor será mayor.

La fórmula que, según se ha visto, sintetiza las leyes del enfriamiento, y que, conforme vamos probando, no expresa la verdad de los fenómenos que se desarrollan durante la transmisión, puede, no obstante, servir para el caso general de la transmisión por radiación y convección simultáneas, que esto es precisamente lo que ocurre cuando un cuerpo se enfría, con tal que se determine el valor correspondiente del coeficiente K de transmisión. Este coeficiente no es constante; es, en general, función de cuatro variables que es preciso fijar en cada caso particular. Y no se crea que las variaciones sean de poca monta, pues que se verifica lo contrario. Así por ejemplo, el valor máximo del coeficiente de convección de un cuerpo sólido en contacto con un fluido aeriforme, es 40; entre un sólido y un líquido puede elevarse hasta 5000; y entre un sólido y el vapor de agua asciende á 50000.

Véase si es grande la influencia del medio, que sin cambiar de estado físico, con sólo cambiar su naturaleza, la transmisión se modifica notablemente. El enfriamiento en el aire y el enfriamiento en una atmósfera, supongamos de hidrógeno, serían muy distintas. Más todavía; en un mismo medio, en el aire por ejemplo, la transmisión varía, según que aquél se mueva sólo en virtud del fenómeno de la convección, ó que además esté en movimiento por otra causa cualquiera. La movilidad del medio favorece la transmisión.

En el enfriamiento influyen también, como ya hemos indicado, las dimensiones del recinto, el grosor y la naturaleza de las paredes que lo limitan, y la movilidad del medio que las envuelve. Considerando dos recintos de la misma forma y dimensiones, de paredes gruesas y refractarias para el calor uno de ellos, y de paredes delgadas y metálicas el otro, el enfriamiento del cuerpo caliente que se supone situado en su interior, será más rápida en este último que en el primero. Se comprende que así sea: las cantidades de calor que, en tiempo igual, absorbe la cara interna y cede la externa de la pared refractaria, no son iguales, la primera es mayor que la segunda, y es por este motivo que el calor se acumula en la misma y que su temperatura adquiere gran elevación. Las paredes metálicas son relativamente, de poco grosor y gran conductibilidad para el calor, así es que el calor que penetra por una cara, sale, por lo común, sin dificultad por la opuesta, la acumulación anterior aquí no tiene lugar, y la temperatura del metal es muy pequeña comparada con la de la pared refractaria. Consecuencia de lo expuesto es que, en el recinto de paredes metálicas, el desnivel térmico entre el cuerpo caliente y la pa-

red, es mayor que en el otro caso, y como la transmisión es proporcional á este desnivel, el enfriamiento será más rápido.

Por lo que toca á la influencia de la naturaleza y la movilidad del medio que está en contacto con la cara externa de las paredes del recinto, bastará observar que según ellas sean, así enfriarán más ó menos la pared, y contribuirán á aumentar ó disminuir los efectos que acabamos de indicar.

Demostrado queda que el estudio de la transmisión del calor en el caso sencillo considerado, no es tan fácil como á primera vista parece, y, téngase en cuenta que el análisis practicado dista mucho de ser completo. Varias otras causas podríamos aún citar, tales, por ejemplo, como la presión del medio; el calor específico, y la densidad del cuerpo caliente; la naturaleza de su superficie, el grado de su pulimento; su color, etc., que influyen también en la transmisión; pero, prescindiré de ellas para no fatigar vuestra atención.

Permitidme sólo que haga mención de una que, muchas veces pasa desapercibida; me refiero á la densidad del cuerpo caliente. En igualdad de circunstancias, los cuerpos más densos conservan más tiempo el calor, ó lo que es igual, tardan más en enfriarse. El simple examen de la fórmula

$$-\frac{dT}{dz} = \frac{KS}{PC}(T-\theta)$$

demuestra que, permaneciendo constante la diferencia $T-\theta$ de temperaturas; y la capacidad C para el calor; la relación $\frac{dT}{dz}$ entre el decremento que experimenta la temperatura, y el tiempo que tarda en experimentarlo, cuya relación expresa la velocidad de la transmisión; es directamente proporcional á la extensión S de la superficie, y está en razón inversa del peso P . Por tanto para que el enfriamiento sea muy rápido, deberán elegirse cuerpos de gran superficie y poco peso, ó sea, cuerpos de pequeña densidad, y, por el contrario, cuanto más densos sean, más tiempo retendrán el calor.

Ahora bien, si la transmisión del calor, en un caso tan simple como el considerado, presenta tal diversidad de particularidades ¿qué sucederá en los casos siempre complejos que la práctica ofrece? En ésta, casi siempre, entre el foco de calor y el cuerpo que se trata de calentar, se sitúa una pared intermedia que sirve de vehículo para la transmisión, de manera que, la cara de la pared que está en contacto con el foco, absorbe calor por radiación y convección simultáneas, este calor absorbido pasa por conductibilidad al través del grosor de la pared, y, la cara opuesta de la misma lo transmite á su vez, también en general por radiación y convección, al cuerpo que se trata de calentar. Y, el fenómeno se complica aún más, á causa del movimiento del fluido caliente, llama y gases desprendidos durante la combustión, y si el cuerpo que se calienta es fluido, á causa también del movimiento de este mismo fluido. Resulta, casi siempre, una transmisión al través

de una pared entre dos fluidos que circulan en contacto con ella, y cuyas temperaturas varían á lo largo de su extensión superficial; caso muy curioso y que da resultados muy variados, según que dichos fluidos circulen en el mismo sentido ó en sentidos opuestos.

En el primer caso, las diferencias entre las temperaturas de entrambos fluidos, son cada vez menores, así es que el calor transmitido, que siempre es proporcional á este desnivel, disminuirá progresivamente en toda la extensión de la superficie de transmisión. Esta disminución es muy rápida; si la superficie aumenta en progresión por diferencia, las cantidades de calor transmitido disminuyen en progresión por cociente. Pero, á medida que se aumenta la extensión de la superficie, aumentan también, y con mucha rapidez, 1.º las causas de dispersión del calor; 2.º el coste del receptor; 3.º los gastos de instalación, y 4.º las dimensiones del local, y como todo ello reunido representa un tanto por ciento de pérdida, que, *pasado cierto límite* supera á la economía que aparece en virtud de las mayores dimensiones del receptor; ¿cómo se determinará este límite en cada caso particular? Y, determinado que sea este límite, ¿qué temperatura tendrán los humos al abandonar la superficie de calefacción? y si el calor que arrastran estos humos ha de determinar el tiro de la chimenea, ¿la temperatura dicha será desde este punto de vista, apropiada, deficiente ó excesiva? Todo esto es preciso saberlo, porque si resultara deficiente sería necesario reducir las dimensiones de la caldera, y si fuere excesiva, deberíamos enfriar más los humos, instalando un economizador de calor. *¿Váase viendo la importancia del estudio del calor?*

Si los fluidos circulan en sentidos contrarios, entonces la diferencia de temperaturas al través de la pared puede conservarse constante, y también, si se desea, aumentar progresivamente á lo largo de la misma, en vez de ir disminuyendo como así se ha visto tenía lugar en el caso anterior. Adoptando este procedimiento, la transmisión es mayor y más uniforme, la calefacción es metódica, y, á igualdad de calor transmitido, los receptores resultan de menores dimensiones.

Aún hay más; para obtener un buen rendimiento, es preciso que el fluido caliente circule de arriba á abajo y el frío de abajo á arriba. Las ventajas que resultan son: 1.ª el fluido caliente va descendiendo por capas isotermas, y las moléculas que más pronto abandonan la superficie de calefacción, son siempre las más frías, ó sea, las que han transmitido mayor cantidad de calor; y 2.ª el fluido frío asciende por zonas también isotermas, y las moléculas que primero abandonan la dicha superficie de calefacción, son las más calientes, las más ligeras, y, por consiguiente, las que habrán absorbido mayor cantidad de calor.

La aplicación de estos principios generales será suficiente en cada caso para calcular la extensión de la superficie de calefacción, y, como consecuencia, las dimensiones del receptor de calor, pero, el problema no queda aún resuelto, no basta tener la caldera, es preciso instalarla, y esta segunda parte es tan importante como la primera. En una instalación de esta índole, no debe perderse de vista, que, las paredes de los conductores de humo, los muros, y también toda la parte del

receptor que no sirve de superficie de transmisión, son otras tantas superficies de enfriamiento ó de filtración de calor, y, por consiguiente, que la mejor instalación será la que reduzca á un límite inferior la extensión superficial de las mismas. En esta atención, una vez conocida la forma de la pared de transmisión, y el volumen del fluido caliente que, en cada unidad de tiempo, circula en contacto con ella, se calculará el área de la sección recta de los conductos de humo correspondientes, y entre las diversas formas que podrían dárseles se elegirán siempre aquellas que teniendo menor perímetro, amolden mejor los humos calientes sobre la mencionada pared de transmisión.

Esbozadas las dificultades que presenta el problema, ya no parecerá tan extraña la afirmación que, refiriéndonos á los generadores de vapor, hicimos al principio respecto á la gran variabilidad de su rendimiento. Un generador de vapor que por cada kilogramo de hulla de buena calidad consumida en el hogar, vaporice 10 kilogramos de agua de la caldera, puede considerarse como un modelo de buena instalación. Si la temperatura inicial del agua de alimentación es, supongamos, 15° ; la tensión del vapor 10 atmósferas, y la temperatura correspondiente á esta presión $180^{\circ}3$; cada kilogramo de agua, para vaporizarse en estas condiciones, necesita 646 calorías, y, por consiguiente, los 10 kilogramos supuestos exigirían 6460 calorías. Admitiendo que la potencia calorífica del combustible empleado sea 8000 calorías, el rendimiento térmico será $6460 : 8000 = 0,80$ aproximadamente. Se pierde pues, la quinta parte del carbón consumido en el hogar. Pero, en la inmensa mayoría de casos, la producción de vapor se reduce á 6 y hasta á 5 kilogramos. Tomando esta última cifra, se tiene una utilización de $646 \times 5 = 3230$ calorías por cada 8000 calorías producidas en el hogar; un rendimiento de $3230 : 8000 = 0,40$ y la pérdida de combustible se eleva á más de la mitad. Y menos mal si la fracción de calor que utiliza la caldera pudiera aprovecharse en su totalidad en la máquina térmica receptora; por desgracia sucede lo contrario; en los motores más perfeccionados el rendimiento no alcanza 18 por 100. Este resultado es desconsolador. Sin exageración puede afirmarse que de la totalidad del carbón consumido en el hogar, se pierden miserablemente las $4/5$ partes. Y si esto se verifica en las instalaciones en que todo, desde los cimientos hasta el vértice de la chimenea respira ciencia y trabajo industrial, considérese lo que pasará en las que no reúnan estas condiciones.

Algunos creen que el rendimiento aumenta á medida que la transmisión por unidad de su superficie es mayor. No hay tal cosa; precisamente se verifica lo contrario. Imaginemos una caldera de forma esférica y supongámosla instalada dentro del hogar. En estas condiciones, la superficie de la caldera recibe calor por irradiación directa del carbón incandescente que hay encima del emparrillado, por irradiación indirecta de las paredes del hogar, y por convección en contacto con los gases inflamados; cada metro cuadrado de superficie de plancha de hierro puede producir por hora 100 kilogramos de vapor de agua, cuyo número corresponde, aproximadamente, á una transmisión de 64000 calorías en el mismo período

de tiempo. Esto es verdad; pero, ¿á qué temperatura estarán los gases cuando abandonen la superficie esférica del receptor? por lo menos á 800°. La pérdida sería enorme; ni siquiera se utilizaría la mitad del calor desarrollado en el hogar. Para que el rendimiento aumente, es preciso enfriar los humos hasta 250°, y en gran número de casos el enfriamiento puede llegar hasta 150°, y para ello hay necesidad de aumentar la extensión de la superficie de calefacción, es decir, extender más la circulación de los humos en contacto con la caldera. Pero, procediendo de este modo, á cada nuevo metro superficial añadido, corresponde menor cantidad de calor transmitido, y el promedio de la transmisión resultante es cada vez menor. En la mayoría de los casos, el promedio de la vaporización no excede de 15 kilogramos, cuyo número corresponde á una transmisión media de 10000 calorías por metro y por hora. Entre ciertos límites, siempre se verifica que aumentando el valor medio unitario del calor transmitido, el rendimiento disminuye y viceversa. La determinación de estos límites es una de las cuestiones que mayor interés ofrecen en la construcción de los receptores de calor.

Con lo expuesto basta para comprender las dificultades que presentan los problemas referentes al calor, y por ende, la importancia excepcional de su estudio.

Si ahora repitiéramos la visita á la sala de generadores de vapor de que hablábamos al principio, claro es que la impresión sería la misma, pero, el concepto, las consideraciones y las consecuencias que deduciríamos de la visita, á buen seguro que serían distintas. Ya no quedaríamos admirados contemplando la velocidad vertiginosa con que se mueven las masas, muchas veces enormes, de los diversos órganos que, por lo común, integran la instalación; comprenderíamos que estas masas obedecen á una acción superior, y que esta acción potentísima es la que se desarrolla, en el acto de la combustión, entre los átomos que se combinan en el hogar.

Cuando un sistema atómico, obedeciendo á la acción de sus fuerzas propias, pasa á ocupar una forma de equilibrio más estable, entonces, su energía potencial se transforma en actual, los átomos chocan, y, como consecuencia de este choque, aparece en aquél una cantidad de calor equivalente al valor de las fuerzas vivas anuladas, ó sea, un movimiento vibratorio de todos los elementos que entran en su constitución. El valor del trabajo que representan estas acciones, al parecer insignificantes, excede á toda ponderación. La compresión á que debería someterse una masa de agua líquida para que su densidad resultara sensiblemente alterada, sería enorme; y este resultado se logra con la mayor sencillez calentando ó enfriando dicha masa. Para producir un alargamiento apenas sensible en una barra metálica, es preciso someterla á un esfuerzo de tracción considerable; calentando la barra se obtienen alargamientos marcados sin esfuerzo aparente de ninguna clase.

Estos ejemplos bastan para comprender la energía que, en determinadas condiciones se desarrolla entre los átomos, y la intensidad elevadísima del movimiento vibratorio que es consecuencia de la misma. Estas fuerzas, se transmiten,

si bien que de un modo desigual, en todas direcciones; no hay posibilidad de evitarlo, nuestro poder se reduce sólo á favorecer la transmisión en tal ó cual sentido, estorbándola en todos los demás.

Ahora veremos con claridad como se transmite este movimiento vibratorio á la plancha del generador; de ésta, al agua; del agua, al vapor que produce; y, á pesar de que la opacidad del metal no nos permite ver lo que pasa en el interior de la caldera, mentalmente veremos también el movimiento vertiginoso de los átomos del vapor, al precipitarse con furia sobre la mencionada plancha, que los retiene; como rebotan sin pérdida de energía, y como reaccionando cada vez con ímpetu mayor, renuevan de continuo sus tentativas de expansión. Los productos de la combustión; la caldera; el agua; el vapor; las paredes de la instalación; el aire del recinto; los muros del edificio, etc., todo vibra, todo oscila con tonalidad é intensidad diferentes. Si la caldera trabaja á elevada presión, este movimiento vibratorio no puede alterarse de una manera brusca, sin exponer el aparato á sacudidas violentas, á trastornos que, muchas veces, motivan una explosión.

La potencialidad del sistema es proporcional al flujo de calor y, por consiguiente, al desnivel térmico que lo determina. La temperatura del hogar varía con la actividad de la combustión, y verificándose ésta en las condiciones ordinarias, suele estar comprendida entre 1000° y 1200°; la temperatura del agua, si el vapor se produce supongamos á 10 atmósferas, será de 180°3; y como la de la plancha, estando la caldera en buen estado, excede sólo en 5° ó 6° á la del agua que está en contacto con ella, el desnivel térmico que existirá en toda la extensión de la superficie de caldeo directo, será aproximadamente de $1.150 - 180 = 970^\circ$. Mientras subsista este desnivel, persistirá también el flujo de calor que le es proporcional; mas, si el fogonero descuida la alimentación de los hornos y se extinguen los fuegos del hogar, entonces, la circulación del calor, la diferencia de temperaturas, la diversidad de los movimientos vibratorios, la potencialidad del sistema, todo desaparecerá en breves instantes.

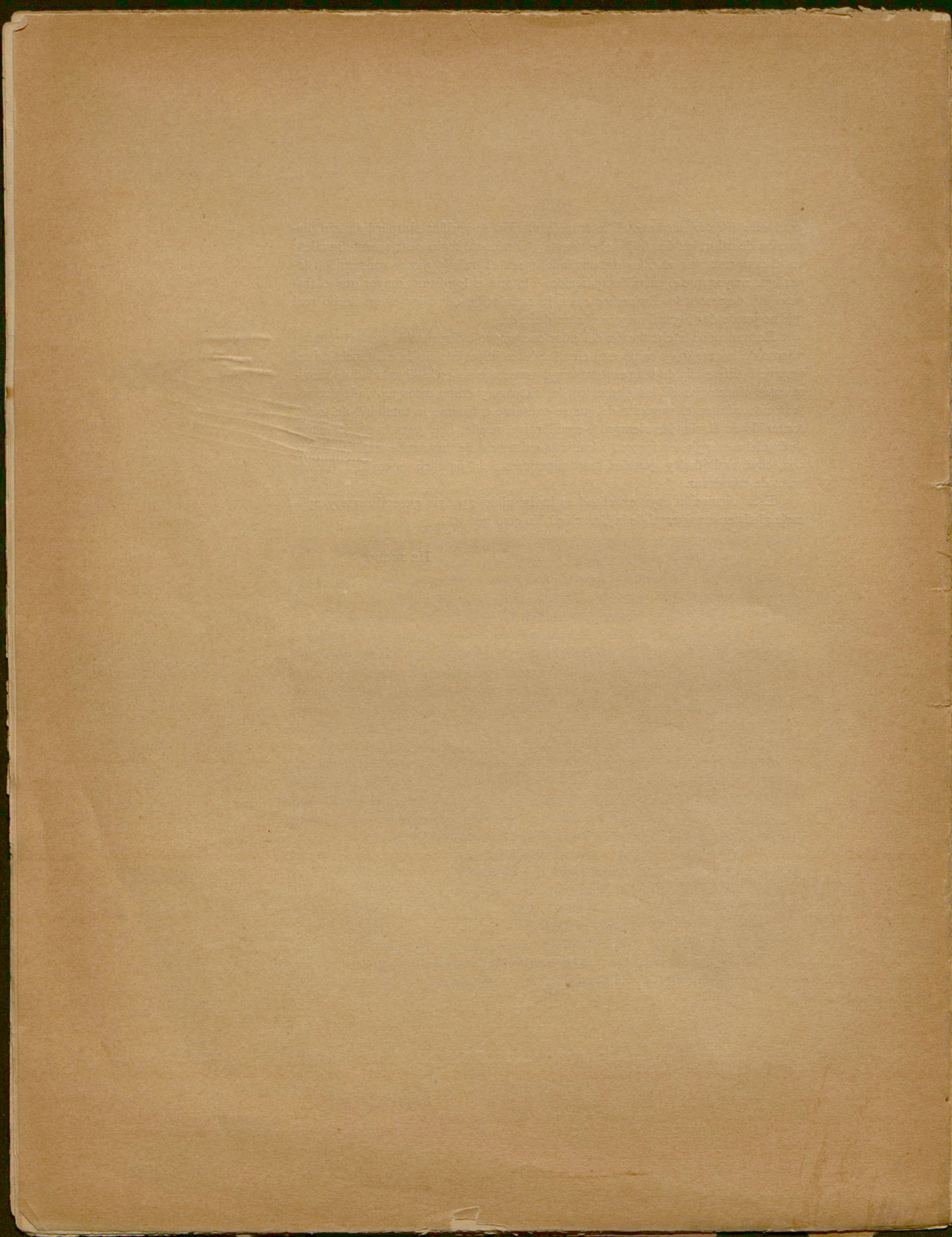
Resulta, pues, que la conservación de la potencialidad de un organismo es siempre resultado de la lucha incesante de dos acciones opuestas; la primera tiende al equilibrio, ó sea á la desaparición de la energía, y la segunda, por el contrario, se opone á esta desaparición restableciendo en cada instante el desequilibrio inicial. Así es la vida, una lucha continua. El resultado no es un movimiento; es una diversidad de movimientos; tampoco es calor, es una repartición desigual de calor, es decir, un flujo, una circulación de calor. Cuando decimos que la vida está caracterizada por el movimiento y el calor, manifestamos sólo una parte de la verdad. Cada sistema se rige por la ley que regula la diversidad de movimientos de los elementos que lo integran; y de la conservación de esta ley, depende el buen funcionamiento, como si dijéramos, el estado normal, la salud del organismo considerado. Esta ley, en definitiva, viene expresada por la conservación de un flujo determinado de calor. Los conceptos que expresan las palabras *trabajo útil* y *trabajo motor*, son respectivamente *calor desaparecido* ó *calor saliente* y *calor*

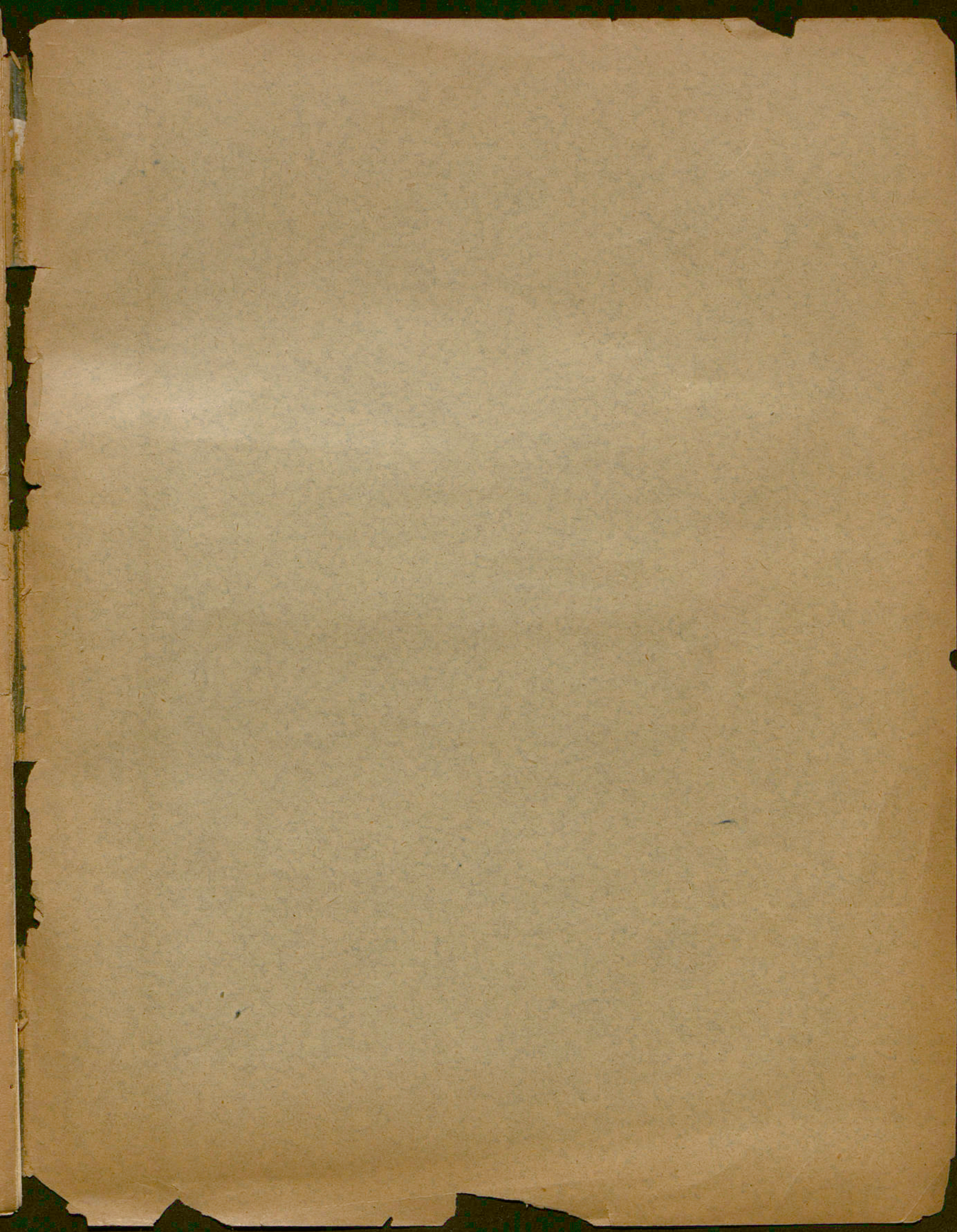
producido ó calor entrante. Si la transformación se verifica sin pérdida, sin dispersión de calor, los dos flujos el entrante y el saliente serán exactamente iguales; en el caso contrario el calor desarrollado, ó sea el trabajo motor consumido, deberá ser mayor que el calor desaparecido, ó lo que es lo mismo, mayor que el trabajo útil desarrollado. En ambos casos la circulación del calor es un hecho real que no puede dar lugar á ningún género de duda.

Resumiendo: la circulación del calor es siempre indispensable para el sostenimiento de la energía, y como esta circulación es imposible sin la existencia de un empuje ó diferencia de temperaturas cuya consecuencia es la diversidad de movimientos vibratorios de los elementos del sistema, y como estos movimientos vibratorios, aún en el supuesto de que se conserve constante la totalidad del calor contenido en él, tienden siempre á equilibrarse, resulta que, para la conservación de la dicha energía, es forzoso admitir la existencia de una acción externa directriz, cuya actividad y grandor sean superiores á la potencia energética que se trata de conservar.

Esta afirmación cuya exactitud es indiscutible, ¿podría generalizarse y aplicarla al sistema universal de la Creación? Yo creo que si.

HE DICHO.





RT
V277